

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Problematika elektrické vzdálenosti
Problems of Electrical Distance

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Ulrich

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Problematika elektrické vzdálenosti
Problems of Electrical Distance

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor výpočtu ustáleného chodu sítě
2. Možnosti výpočtu elektrické vzdálenosti
3. Použití výpočetních software pro určení elektrické vzdálenosti
4. Výpočet elektrické vzdálenosti v konkrétní oblasti
5. Zhodnocení vlivu elektrické vzdálenosti na úbytek napětí a výkonové ztráty
6. Zhodnocení významu elektrické vzdálenosti

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek Z.: Elektroenergetika, skripta VŠB Ostrava 1992
2. Santarius P.: Elektrické stanice a vedení, skripta VŠB Ostrava 1990
3. Hodinka, M., Fecko, Š., Němeček, F.: Přenos a rozvod elektrické energie. SNTL 1989 Praha


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

.....
Pavel Ulrich

Datum odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Stanislavovi Ruskovi, CSc. a panu Ing. Františkovi Střídovi za poskytnutí materiálů, cenných rad a konzultací, které mi ochotně během tvorby bakalářské práce poskytli.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá rozбором pojmu elektrické vzdálenosti a jejího výpočtu. Výpočty elektrické vzdálenosti jsou provedeny třemi způsoby. První způsob výpočtu je metodou sérioparalelního řazení odporů nebo impedancí a druhé dva způsoby jsou provedeny pomocí výpočetního softwaru Bizon projektant. V práci jsou dále rozebrány pojmy patřící k této problematice, a to například ustálený chod elektrické sítě, náhradní články π a T, ale také parametry vedení, jež jsou potřebné ke konkrétnímu výpočtu elektrické vzdálenosti. Uvedené výsledky elektrické vzdálenosti, jak pomocí klasického výpočtu, tak také pomocí softwaru, jsou v této práci porovnány a odůvodněny.

Klíčová slova:

Elektrická vzdálenost, ustálený chod, parametry vedení, software, π článek, T článek, Blondelovy konstanty

Abstract:

This thesis deals with analysis of the concept of electrical distance and its computation. Electrical distance's calculations are carried out in three ways. The first method is a method of calculating series-parallel partial order of resistance or impedance and the other two methods are conducted by using computer software Bizon projektant. This thesis also discusses the concepts belonging to this issue, for example, stable operation of electric line, spare π and T cells, but also the parameters of the line that are needed to calculate the specific electrical distance. These results of electrical distance, calculated by classical computation and the software, are compared and justified.

Keywords:

Electrical distance, steady running conditions, parameters of the electric line, software, cell π , cell T, Blondel's constant

Seznam použitých symbolů a zkratek:

G_S	... svodová vodivost [$S.km^{-1}$]
NN	... nízké napětí
Ω	... kruhová frekvence [s^{-1}]
P	... činné ztráty [W]
ΔP_S	... svodové ztráty [$W.km^{-1}$]
Q	... jalové ztráty [var]
R	... činný odpor vedení [Ω]
R_{ϑ}	... činný odpor při teplotě ϑ [Ω]
R_{20}	... činný odpor při teplotě 20°C [Ω]
S	... průřez vodiče [mm^2]
U	... potenciál [V]
U_f	... fázové napětí [V]
U_S	... sdružené napětí [V]
VN	... vysoké napětí
VVN	... velmi vysoké napětí
X	... reaktance [Ω]
Z	... impedance [Ω]
ZVN	... zvlášť vysoké napětí
a	... vzdálenost mezi vodiči [m]
α	... teplotní součinitel odporu [K^{-1}]
δ	... relativní chyba měření [%]
ϵ	... permitivita [$F.m^{-1}$]
f	... frekvence [Hz]
ρ	... měrný odpor vodiče [$\Omega . mm^2 . m^{-1}$]
ρ_0	... vzdálenost od vodiče, ve které se předpokládá nulový potenciál [m]
$\Delta\vartheta$... teplotní rozdíl od 20°C [K]

Obsah:

1	Úvod.....	1
2	Řešení ustáleného chodu elektrické sítě	1
2.1	Výpočet ustáleného chodu sítí nn a vn	2
2.2	Výpočet ustáleného chodu sítí vn a vvn	3
2.3	Náhradní články vedení a Blondelovy konstanty	4
2.3.1	Náhrada pomocí T článku	5
2.3.2	Náhrada pomocí Π článku	6
2.3.3	Tabulka blondelových konstant	7
3	Parametry vedení.....	7
3.1	Činný odpor vedení	9
3.2	Indukčnost vedení	10
3.2.1	Indukčnost svazkových vodičů	10
3.2.2	Indukčnost kabelů.....	11
3.3	Kapacita vedení	11
3.3.1	Kapacita vedení svazkových vodičů.....	12
3.3.2	Kapacita kabelů	12
3.4	Svodová vodivost	12
4	Definice elektrické vzdálenosti	12
4.1	Důvody výpočtů elektrické vzdálenosti	13
4.2	Způsoby modelování elektrické vzdálenosti	13
5	Software.....	15
5.1	Bizon projektant	15
6	Konkrétní výpočet elektrické vzdálenosti	16
6.1	První příklad výpočtu elektrické vzdálenosti	16
6.2	Druhý příklad výpočtu elektrické vzdálenosti.....	22
6.3	Třetí příklad výpočtu elektrické vzdálenosti	26
7	Závěr.....	32

1 Úvod

V této bakalářské práci se zabývám problematikou elektrické vzdálenosti. Je zde popsán teoretický postup výpočtu elektrické vzdálenosti a její popis a využití. Dále pak také důvody, proč se elektrickou vzdáleností vůbec zabýváme a kde se s ní například setkáme. Jsou zde také provedeny konkrétní výpočty elektrické vzdálenosti a to dvěma způsoby. Prvním způsobem je ruční výpočet elektrické vzdálenosti a druhým výpočet provedený pomocí použitého softwaru Bizon projektant, v kterém se prováděly dvě varianty výpočtu elektrické vzdálenosti. V práci je také popsán ustálený chod sítí a jeho výpočet pro sítě nn, vn a vvn, či popis T a π článku. Stejně tak je zde například popis parametrů vedení, jako kapacita vedení, indukčnost a činný odpor, jelikož tyto parametry jsou nezbytné pro vypočítávání konkrétní elektrické vzdálenosti a jsou základním stavebním kamenem. Ve většině literatur pojem elektrická vzdálenost není ještě definován a je to nové téma v oblasti elektroenergetiky.

2 Řešení ustáleného chodu elektrické sítě [1]

Při normálním provozu elektrické sítě je zapotřebí znát základní údaje v jednotlivých částech elektrické sítě (toky činných a jalových výkonů, napěťové poměry v uzlech, přenosové ztráty). Vypočtené údaje ustáleného chodu elektrické sítě slouží pro návrh dalšího rozvoje elektrizační soustavy, pro optimalizační výpočty (hospodárné rozdělení výkonů, regulace napětí a podobně) a jsou jako výchozí podklady pro řešení přechodových stavů elektrických sítí.

Při řešení ustáleného chodu provádíme obvykle určité zjednodušení elektrické sítě. Elektrická vedení se nahrazují náhradními články (obvykle π článkem), transformátory se nahrazují T nebo π články. U příčných admitancí se obvykle uvažují kapacity (u sítí vn, vvn) nebo se úplně zanedbávají (u sítí nn, vn) a vedení se nahrazuje pouze podélnou impedancí.

Trojfázová síť se obvykle předpokládá lineární s jedním kmitočtem, souměrná v parametrech, zdrojích i spotřebičích a proto se řeší jednofázově.

Odběry lze nahrazovat:

- a) impedancí nezávislou na napětí
- b) proudem nezávislým na napětí
- c) výkony nezávislými na napětí
- d) výkony závislými na napětí

Náhrada podle a) se užívá zejména například při stejnosměrném modelu. Náhrada dle b) v sítích nn a vn, náhrada dle c) v sítích vvn

Při sestavování základních rovnic lze užít obecných metod analýzy elektrické sítě (například metoda uzlových napětí, metoda smyčkových proudů). V praxi se nejčastěji využívá metoda uzlových napětí pro jednoduchý algoritmus sestavování uzlové matice.

2.1 Výpočet ustáleného chodu sítí nn a vn [1]

Při řešení těchto sítí jsou zadány odebírané a dodávané proudy do uzlů elektrické sítě, výpočet ustáleného chodu se řeší jako lineární úloha. Za předpokladu, že parametry všech prvků jsou přepočítány na jedno společné napětí (elektrickou síť pak můžeme nahradit galvanickým spojením náhradních admitancí), můžeme síť popsat s použitím metody uzlových napětí soustavou rovnic

$$\begin{bmatrix} \hat{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \hat{U} \end{bmatrix}$$

kde: $\begin{bmatrix} \hat{I} \end{bmatrix}$ - jsou zadané proudy (obvykle znaménko + označuje dodávku a znaménko – odběr)

$\begin{bmatrix} \hat{U} \end{bmatrix}$ - jsou neznámá uzlová napětí

$\begin{bmatrix} \hat{Y} \end{bmatrix}$ - jsou prvky uzlové admitanční matice

Soustavu rovnic můžeme zapsat ve tvaru:

$$\hat{I} = \sum_{j=1}^n \hat{Y}_{ij} \times \hat{U}_j \quad (1)$$

Pro $i = 1, 2, \dots, n$

Kde n je počet uzlů elektrické sítě

Referenční uzel (s nulovým potenciálem) označíme 0

Jelikož neuvažujeme u elektrické sítě příčné admitance, to je referenční uzel není vodičem spojen se žádným z uzlů, pak matice $\begin{bmatrix} \hat{Y} \end{bmatrix}$ je singulární, tj. soustava rovnic je navzájem závislá.

Závislost odstraníme eliminací, takzvaného bilančního uzlu.

Bilanční uzel:

Je uzel, ve kterém známe napětí, vyrovnává bilanci mezi dodávkami a odběry. Obvykle mu přiřazujeme index 1.

Rovnici pak můžeme přepsat do rozšířeného tvaru:

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{11} & \hat{Y}_{1a} \\ \hat{Y}_{a1} & \hat{Y}' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \hat{U}_1 \\ \hat{U}' \end{bmatrix}$$

Po roznásobení

$$\hat{I}_1 = \hat{Y}_{11} \times \hat{U}_1 + \left[\hat{Y}_{1a} \right] \times \left[\hat{U}' \right]$$

$$\left[\hat{I}' \right] = \left[\hat{Y}_{a1} \right] \times \hat{U}_1 + \left[\hat{Y}' \right] \times \left[\hat{U}' \right]$$

Nebo jinak

$$\hat{I}_i = \hat{Y}_{ij} \times \hat{U}_1 + \hat{I} = \sum_{j=1}^n \hat{Y}_{ij} \times \hat{U}_j \quad (2)$$

Pro $i = 2, 3, \dots, n$

Admitanční matice $[\hat{\mathbf{Y}}]$ je už regulární, takže soustava rovnic má jednoznačné řešení. Soustavu rovnic můžeme řešit například inverzí admitanční matice $[\hat{\mathbf{Y}}]$ a tím stanovit neznámá uzlová napětí.

2.2 Výpočet ustáleného chodu sítí vn a vvn [1]

V těchto sítích jsou zadány dodávky a odběry zdánlivými výkony, tedy pro i -tý uzel:

$$\hat{S}_i = P_i + jQ_i = \hat{U}_i \times \hat{I}_i^* \quad (3)$$

V této definici je přiřazeno k činnému dodávanému výkonu znaménko + a činnému odebíranému výkonu znaménko -. Pro induktivní zatížení souhlasí znaménko jalového výkonu se znaménkem činného výkonu, pro kapacitní zatížení je opačné.

Z rovnice určíme proud:

$$\hat{I}_i = \frac{\hat{S}_i^*}{\hat{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} \quad (4)$$

Nebo po dosazení do rovnice (2)

$$\hat{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \hat{Y}_{ij} \times \hat{U}_j \quad (5)$$

Pro $i = 2, 3, \dots, n$

Zde byla provedena vola bilančního uzlu (volba napětí U_1) a eliminace bilančního uzlu. V této síti bilanční uzel hradí rozdíl mezi dodávkami a odběry výkonu (ztráty v elektrické síti).

Výpočet neznámých napětí dle rovnice (5) vede k řešení soustavy nelineárních kvadratických rovnic, a proto se k řešení používá interačních metod. Obvykle se řešení provádí pomocí Gaussovy (Gauss-Seidlový) metody nebo pomocí Newton-Raphsonovy metody.

2.3 Náhradní články vedení a Blondelovy konstanty [4]

Pro přibližné metody výpočtu vedení vn se používají tzv. náhradní články. Při tomto řešení uvažujeme soustředěné parametry vedení do několika náhradních impedancí a admitancí. Parametry vedení se pak vhodným způsobem zapojují. Rozlišujeme dva základní náhradní články T článek a Π článek. Každý náhradní článek má jiné hodnoty Blondelových konstant. Blondelovy konstanty odvozujeme z podélné impedance vedení Z_K a příčné admitance Y_K , pro které platí:

$$\bar{Z}_K = (R_K + j\omega L_K) \quad [\Omega \cdot km^{-1}] \quad (6)$$

$$\bar{Y}_K = (G_K + j\omega C_K) \quad [S \cdot km^{-1}] \quad (7)$$

Kde: R_K, L_K, C_K, G_K parametry vedení vztažené na 1 km délky

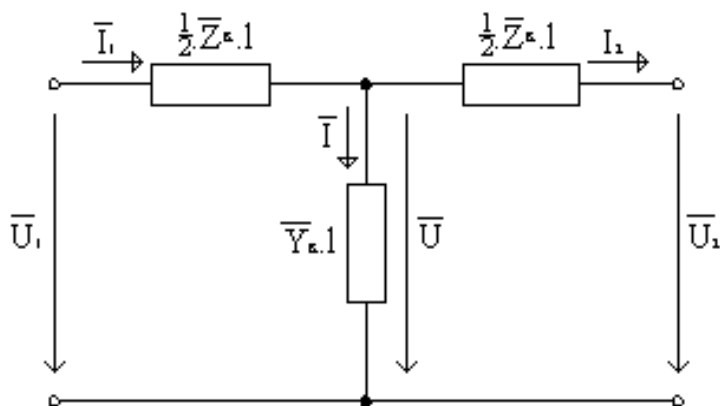
Blondelovy konstanty vypočtené pomocí náhradních článků dosazujeme společně s hodnotami na konci vedení (U_2, I_2) do rovnic pro čtyřpól.

$$\bar{U}_1 = \bar{A}\bar{U}_2 + \bar{B}\bar{I}_2 \quad (8)$$

$$\bar{I}_1 = \bar{C}\bar{U}_2 + \bar{D}\bar{I}_2 \quad (9)$$

2.3.1 Náhrada pomocí T článku [4]

Příčná admitance je umístěna do středu vedení. Podélná impedance je rozdělena na dvě poloviny a umístěna na začátek a konec vedení. Zapojení T článku a rozdělení proudů a napětí je zobrazeno na schématu



Obr. 1 Model náhradního T-článku

Odvozením z rovnic (8) a (9) pro součet napětí a proudů dle Kirchhoffových zákonů a jejich vzájemným porovnáním dostaneme Blondelovy konstanty pro T článek.

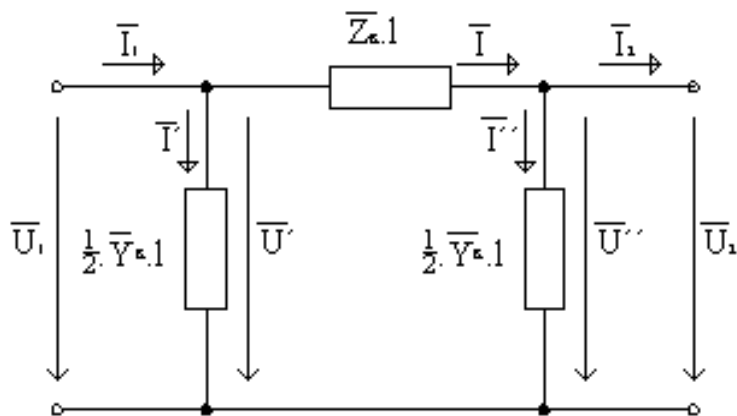
$$\bar{A} = \bar{D} = \left(1 + \frac{\bar{Z}_k \cdot \bar{Y}_k \cdot l^2}{2}\right) \quad [-]$$

$$\bar{B} = \bar{Z}_k \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_k \cdot \bar{Y}_k \cdot l^2}{4}\right) \quad [\Omega]$$

$$\bar{C} = \bar{Y}_k \cdot l \quad [S]$$

2.3.2 Náhrada pomocí Π článku [4]

Příčná admitance je rozdělena na dvě poloviny a umístěna na začátek a konec vedení. Podélná impedance je umístěna do středu vedení. Zapojení Π článku a rozdělení proudů a napětí je zobrazeno na schématu.



Obr. 2 Model náhradního Π -článku

Odvozením z rovnic (8) a (9) pro součet napětí a proudů dle Kirchhoffových zákonů a jejich vzájemným porovnáním dostaneme Blondelovy konstanty pro Π článek.

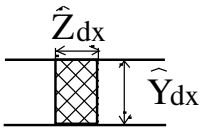
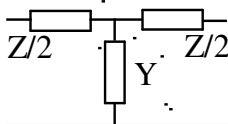
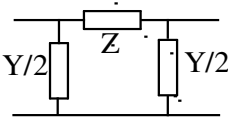
$$\bar{A} = \bar{D} = \left(1 + \frac{\bar{Z}_\kappa \bar{Y}_\kappa l^2}{2}\right) \quad [-]$$

$$\bar{B} = \bar{Z}_\kappa l \quad [\Omega]$$

$$\bar{C} = \bar{Y}_\kappa l \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_\kappa \bar{Y}_\kappa l^2}{4}\right) \quad [S]$$

2.3.3 Tabulka blondelových konstant [4]

Tab.1. Blondelovy konstanty

Čtyřpól	Schéma	$\hat{A} = \hat{D}$ [-]	\hat{B} [Ω]	\hat{C} [S]
Homogenní vedení s rozloženými parametry		$\cosh(\gamma \cdot \ell)$	$\hat{Z}_v \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell)$	$\frac{1}{\hat{Z}_v} \cdot \sinh(\gamma \cdot \ell)$
T článek		$1 + \frac{\hat{Z}_1 \cdot \hat{Y}_1 \cdot \ell^2}{2}$	$\hat{Z}_1 \cdot \ell \cdot \left(1 + \frac{\hat{Z}_1 \cdot \hat{Y}_1 \cdot \ell^2}{4} \right)$	$\hat{Y}_1 \cdot \ell$
Π článek		$1 + \frac{\hat{Z}_1 \cdot \hat{Y}_1 \cdot \ell^2}{2}$	$\hat{Z}_1 \cdot \ell$	$\hat{Y}_1 \cdot \ell \cdot \left(1 + \frac{\hat{Z}_1 \cdot \hat{Y}_1 \cdot \ell^2}{4} \right)$

3 Parametry vedení [2]

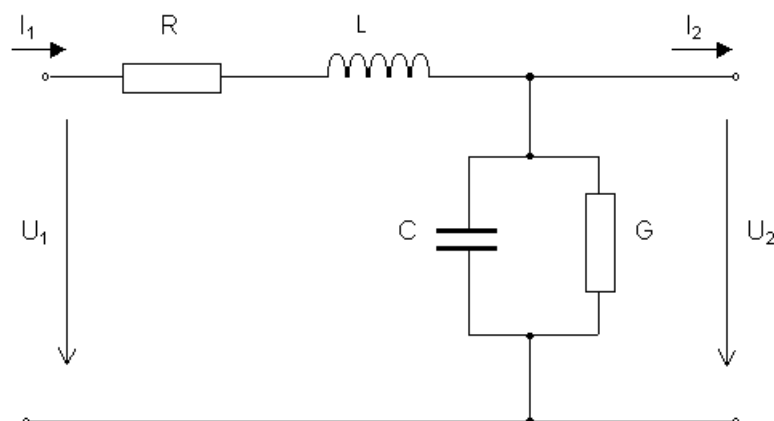
Jelikož při výpočtu elektrické vzdálenosti počítáme například s činným odporem vedení či impedancí vedení, tak jsou pro nás tudíž důležité parametry vedení, protože jsou základním stavebním kamenem výpočtu elektrické vzdálenosti.

V obecném případě mají vodiče čtyři parametry:

- činný odpor R [Ω],
- indukčnost L [H],
- kapacita C [F],
- svod (svodová vodivost) G [S].

Jednofázový model vedení s uvedením jednotlivých parametrů je na obr. 3.

Při výpočtech stejnosměrných vedení bude brán v úvahu pouze jeden parametr – činný odpor.



Obr. 3- jednofázový model vedení

Při výpočtech střídavých vedení NN a VN pak dva parametry – činný odpor a indukčnost vedení. (Pozn. V některých případech (kabelová vedení NN) lze i u střídavých obvodů indukčnost zanedbat.)

Při výpočtech střídavých vedení VVN a ZVN budou brány v úvahu všechny čtyři parametry vedení. (Pozn. U vedení s menším jmenovitým napětím než 400 kV se zanedbává svodová vodivost.)

Činný odpor R a indukčnost vedení L tvoří tzv. podélnou impedanci vedení, která je vyjádřena vztahem:

$$\bar{Z} = R + j\omega L \quad [\Omega] \quad (10)$$

Reálnou část podélné impedance tvoří činný odpor, imaginární část tvoří induktivní reaktance ($X = \omega L$)

Kapacita vedení C a svodová vodivost G tvoří tzv. příčnou admitanci vedení, která je vyjádřena vztahem:

$$\bar{Y} = G + j\omega C \quad [S] \quad (11)$$

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$... kruhová frekvence [s^{-1}]

f ... frekvence [Hz]

3.1 Činný odpor vedení [2]

Činný odpor vedení je závislý na vodivém materiálu vedení. Odpor vedení je přímo úměrný měrnému odporu vedení, délce vedení a nepřímo úměrný průřezu vedení.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (12)$$

R ... odpor vedení [Ω]

ρ ... měrný odpor vodiče [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]

l ... délka vodiče [m]

S ... průřez vodiče [mm^2]

Činný odpor se udává při určité teplotě (20°C), je totiž teplotně závislý. Pro vodiče platí, že odpor s rostoucí teplotou roste a naopak. Tuto závislost zohledňuje teplotní součinitel odporu α . Pro odpor při libovolné teplotě platí vztah:

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \Delta\vartheta) \quad (13)$$

R_{ϑ} ... činný odpor při teplotě ϑ [Ω]

R_{20} ... činný odpor při teplotě 20°C [Ω]

α ... teplotní součinitel odporu [K^{-1}]

$\Delta\vartheta$... teplotní rozdíl od 20°C [K]

Činný odpor je také frekvenčně závislý (skinefekt), lze tedy říci, že střídavý odpor je vyšší než odpor stejnosměrný.

$$R_{\text{STR}} = k \cdot R_{\text{SS}} \quad (14)$$

Pro průmyslové kmitočty je ovšem zvýšení odporu nepatrné ($k = 1$) a není s ním obvykle uvažováno.

Protože se v elektrických sítích používají jako vodiče především lana (nikoli dráty), je použití základního vztahu pro činný odpor (3.3) problematické.

Proto je výrobcem vodiče stanovena hodnota činného odporu vtažená na jednotku délky (obvykle kilometr) R_K . Pro výsledný odpor lana pak platí jednoduchý vztah:

$$R = R_K \cdot l \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{km}] \quad (15)$$

3.2 Indukčnost vedení [2]

Kolem vodiče se vytváří elektromagnetické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Proto vykazuje každé elektrické vedení také indukčnost. Odvození indukčnosti vedení vychází ze znalostí řešení elektromagnetického pole.

Rozlišujeme vlastní indukčnost vodiče a vzájemnou indukčnost mezi jednotlivými vodiči. Pro vlastní indukčnost vodiče lze odvodit následující vztah, který udává indukčnost vztaženou na jednotku délky vodiče (zpravidla na kilometr).

$$L = 0,46 \log \frac{2l}{r} - 0,15 \quad [\text{mH.km}^{-1}] \quad (16)$$

r, l jsou rozměry vodiče (poloměr, délka) a dosazují se ve stejných jednotkách.

Pro vzájemnou indukčnost na kilometr platí následující vztah:

$$M = 0,46 \log \frac{2l}{a} - 0,2 \quad [\text{mH.km}^{-1}] \quad (17)$$

a ... vzdálenost mezi vodiči

Oba uvedené vztahy již v sobě zahrnují hodnotu permeability. Pomocí vztahů 16 a 17 lze již odvodit výslednou indukčnost daného vedení.

3.2.1 Indukčnost svazkových vodičů [2]

U vedení VVN a ZVN se zpravidla používá tzv. svazkových vodičů. Znamená to, že každá fáze není tvořena pouze jedním vodičem, ale svazkem několika vodičů, které mají od sebe vzdálenost d . Počet vodičů ve svazku n je různý (v našich sítích se nejčastěji vyskytuje dvojsvazek, trojsvazek, popř. čtyřsvazek).

Výhody použití svazkových vodičů jsou následující:

- zlepšení mechanických vlastností vedení,
- vliv na parametry vedení (menší indukčnost a tím i induktivní reaktance),
- zmenšení ztrát korunou.

Z hlediska elektromagnetického pole se chová svazkový vodič v podstatě jako kruhový vodič o tzv. ekvivalentním poloměru r_e . Pro tento poloměr platí následující vztah:

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}} \quad (18)$$

Výsledný vztah pro střední indukčnost vedení se svazkovými vodiči je dána vztahem:

$$L_{\text{stř}} = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}}}{\sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}}} + \frac{0,05}{n} = 0,46 \log \frac{a_s}{r_e} + \frac{0,05}{n} \quad [\text{mH.km}^{-1}] \quad (19)$$

Z tohoto vztahu je patrné, že vedení se svazkovými vodiči má nižší indukčnost a tím i nižší induktivní reaktanci.

3.2.2 Indukčnost kabelů

U kabelu je indukčnost nižší než u venkovního vedení o stejných přenosových schopnostech. Vztah 2.22 je možno použít pouze pro trojfázové plastové kabely. U kabelů se stíněním, pancířem atd. platí vztahy složitější. Induktivní reaktanci kabelů na kilometr délky udává výrobce. [2]

Pozn. jak vyplývá ze vztahů pro indukčnost v této kapitole, je indukčnost vedení závislá hlavně na vzdálenosti vodičů, které jsou závislé na napěťové hladině. Podle napěťové hladiny vedení a uspořádání (jednoduché nebo dvojité vedení) je možno tedy přibližně určit indukčnost (induktivní reaktanci) vedení. [2]

3.3 Kapacita vedení [2]

Kolem vodiče se vytváří elektrické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Proto vykazuje každé elektrické vedení také kapacitu. Odvození kapacity vedení vychází ze znalostí řešení elektrostatického pole.

Základním vztahem, ze kterého se vychází při odvození kapacity vedení, je vztah pro elektrický potenciál.

$$U = \frac{Q}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{\rho_0}{\rho} \quad [\text{V}; \text{C.m}^{-1}; \text{F.m}^{-1}] \quad (20)$$

U ... potenciál [V]

Q ... náboj vodiče [C.m⁻¹]

ε ... permitivita [F.m⁻¹]

ρ ... vzdálenost od vodiče [m]

ρ₀ ... vzdálenost od vodiče, ve které se předpokládá nulový potenciál [m]

3.3.1 Kapacita vedení svazkových vodičů

Pro kapacitu vedení se svazkovými vodiči platí stejné vztahy, které byly uvedeny s tím rozdílem, že místo poloměru vodiče r se dosazuje hodnota ekvivalentního poloměru svazku r_e . [2]

3.3.2 Kapacita kabelů [2]

Obecně lze konstatovat, že kapacita kabelů je větší než kapacita venkovního vedení stejné napěťové hladiny a stejných přenosových schopností. Vyplyvá to z dříve uvedených vztahů. Také relativní permitivita izolace kabelů, má vyšší hodnotu než jedna. Vzorce pro výpočet kapacity kabelů jsou složitější než u venkovního vedení a jsou závislé na typu kabelu (pokovené žíly, pancíř atd.).

Pokud kapacitu kabelů neudává výrobce, je vhodné ji určit měřením.

3.4 Svodová vodivost [2]

Svod (svodová vodivost) je způsobena vodivostí izolátorů. Svod tedy závisí na kvalitě izolátorů, ale také na provozních a atmosférických podmínkách. Svod způsobuje činné ztráty na vedení. Svod se také obvykle vyjadřuje v hodnotách svodových ztrát na kilometr vedení.

$$\Delta P_s = 3 U_f^2 G_s = U_s^2 G_s \quad [\text{W.km}^{-1}; \text{V}; \text{S.km}^{-1}] \quad (21)$$

ΔP_s ... svodové ztráty $[\text{W.km}^{-1}]$

U_f ... fázové napětí $[\text{V}]$

U_s ... sdružené napětí $[\text{V}]$

G_s ... svodová vodivost $[\text{S.km}^{-1}]$

4 Definice elektrické vzdálenosti

Pojem elektrická vzdálenost je často používán v oblasti provozu elektrických sítí. Jeho definice se však ve většině odborných literatur nevyskytuje. Termín elektrická vzdálenost je většinou spojována s problematikou zkratových výpočtů, respektive určováním zkratových příspěvků jednotlivých zdrojů. [3]

Můžeme tedy říct, že elektrická vzdálenost je fiktivní veličina nahrazující některé skutečné vlastnosti reálné elektrické sítě. Zohledňuje jednak elektrické vlastnosti sítě tj. vliv na přenos elektrického proudu, ale současně zohledňuje také skutečné prostorové uspořádání sítě. [3]

S problematikou elektrické vzdálenosti se setkáváme například při řešení optimalizace jalového výkonu generátorů, které pracují do sítí 110 kV nebo optimalizace sítí s větrnými elektrárnami, které pracují do sítí 22 kV a v jiných řešeních. [3]

Elektrickou vzdálenost je možno vypočítávat klasicky, tj. řešením sérioparalelního zapojení impedancí a následným přepočtem na impedanci zvoleného vodiče nebo u složitějších sítí je možno činný odpor a reaktanci vypočítávat z hodnoty činných a jalových ztrát ve vedeních. [3]

4.1 Důvody výpočtů elektrické vzdálenosti

Jak už bylo řečeno, tak s problematikou elektrické vzdálenosti se setkáváme například při řešení optimalizace jalového výkonu generátorů, které pracují do sítí 110 kV nebo optimalizace sítí s větrnými elektrárnami, které pracují do sítí 22 kV. Co se týká těchto dvou problematik, tak u první, kdy jde o optimalizaci jalového výkonu generátorů, které pracují do sítí 110 kV je například nutno počítat, jak se mění optimální parametry chodu generátoru v závislosti na elektrické vzdálenosti generátoru od napájecí rozvodny 400/110 kV. Co se týká druhé problematiky, kdy jde o optimalizace sítí s větrnými elektrárnami, které pracují do sítí 22 kV, tak tam je například nutno počítat, jak se mění optimální parametry chodu generátoru v závislosti na elektrické vzdálenosti generátoru od napájecí rozvodny 110/22 kV respektive 220/110 kV.

Tato otázka elektrické vzdálenosti se objevila při optimalizačních výpočtech chodu generátorů obnovitelných zdrojů energie v sítích 22 kV. Obnovitelné zdroje elektrické energie (zvláště větrné elektrárny), které jsou v současné době propagovány, způsobují problémy v provozu distribučních (i přenosových) sítí. [3]

4.2 Způsoby modelování elektrické vzdálenosti [3]

Z hlediska principu modelování elektrické vzdálenosti je možno uvažovat o třech možnostech

- modelování na základě impedancí sítě,
- modelování na základě činného odporu sítě,
- modelování na základě induktivní reaktance sítě.

Předpoklad je, že hodnota kapacitní vodivosti se zanedbává.

Způsob možného modelování elektrické vzdálenosti závisí na hladině napětí elektrické sítě a na typu vedení (venkovní vedení, kabel). Základní otázkou je poměr hodnoty činného odporu a induktivní reaktance (vliv kapacitní vodivosti je pro tuto analýzu zanedbán).

Základní způsob modelování je řešení sérioparalelního zapojení jednotlivých vedení. Dle uvedených principů je možno řešit sérioparalelní model činných odporů, induktivních reaktancí nebo komplexních impedancí. Tedy výsledná impedance, činný odpor nebo reaktance mezi dvěma uzly sítě. Toto řešení je však většina počítačových programů pro řešení sítí nenabízí.

Další možností je provést výpočet elektrické vzdálenosti z hodnot činných a jalových ztrát vedení. Tyto hodnoty běžné výpočtové programy elektrických sítí uvádějí. Stanovení elektrické vzdálenosti daného uzlu sítě od napájecího uzlu lze řešit následovně:

- a) Na modelu sítě se odpojí všechny odběry (včetně odběrových traf).
- b) Do daného uzlu sítě je připojen definovaný odběr.
- c) Je proveden výpočet ustáleného chodu sítě a určí se proud odběrem (i napájecím transformátorem) a výsledné činné a jalové ztráty na vedeních.
- d) Ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ se provede výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X. Hodnota proudu je dána aritmetickým průměrem proudu transformátorem a odběrem.
- e) Podle parametrů zvoleného vodiče je z odporu a reaktance vypočtena délka (elektrická vzdálenost).

Při použití této metody si je nutno ale uvědomit její nepřesnost. Výpočtové programy modelují elektrickou síť včetně příčných větví vedení (většinou se používá Π článek). Proud na počátku a na konci vedení je jiný. Ztráty pro jednotlivá vedení jsou počítány jako rozdíl činného (jalového) výkonu na začátku a konci vedení. Možnost jak tuto chybu eliminovat je „odstranit“ příčné větve z modelu vedení.

5 Software

Pro řešení výpočtu a modelování zvolené problematiky je používáno spousta výpočetních software. Na katedře elektroenergetiky VŠB-TUO jsou používány především tři výpočetní programy a to: Kasian, Bizon projektant a E-Vlivy. Já si pro namodelování a výpočet zvolené sítě a počítání elektrické vzdálenosti zvolil software Bizon projektant.

5.1 Bizon projektant [5]

Produkt Bizon je nejnovějším členem tradiční produktové řady PAS DAISY Off-Line. Je to programový systém pro výpočty režimů elektroenergetických sítí. Je určen především pro plánování rozvoje, projektování a dlouhodobou přípravu provozu rozvodných sítí nn, vn a vvn. Obsahuje podporu pro výpočty nastavení ochrany a jištění pojistkami a jističi.

Význačné vlastnosti programu Bizon projektant:

- Schopnost práce se sítěmi nn, vn i vvn s respektováním zvláštností a zvyklostí jednotlivých napěťových úrovní
- Práce s úsekovými odpojovači vn, spínači sběrnic a injekcemi výkonů
- Vícevinut'ové transformátory
- Logické kontroly sítě
- Vyhledávání míst slabé vazby
- Kontrola selektivity jištění
- Automatický návrh jištění
- Výpočty ztrát podle vyhlášky MPO č.153/2001Sb.
- Velmi pružný grafický zobrazovací aparát, umožňující přizpůsobení prakticky libovolným zvyklostem zobrazování, možnost sdílení monitorů s jinou aplikací (SCADA, GIS atp.)

- Ovládání podle zvyklostí GUI Windows
- Plynulá změna měřítka zobrazení (zoomování), zobrazování v reálných měřítkách
- Decluttering (možnost změny chování grafického objektu v závislosti na právě použitém měřítku zobrazení), využívání vrstev, kotvení objektů
- Uživatelské interaktivní tabulkové pohledy
- Grafické průběhy veličin
- Podpora porovnávání a třídění výsledků různých variant výpočtu
- Schopnost zpracovávat obrázky ve formátech DXF, DGN, CIT, ESRI Shape file, BMP a JPG
- Export schémat do grafických souborů, tabulkových dat do standardních souborů pro databázové, tabulkové a textové procesory
- Možnost přímého importu databáze a obrázků z PAS DAISY Off-Line, PAS DAISY On-Line (grafické verze, obrázky s výslednými stavby) a PCL
- Podpora myši s kolečkem
- Podpora tabletu
- Databáze parametrů jisticích prvků nejvýznamnějších výrobců (OEZ, SEZ, ABB, Siemens,...) s možností zobrazování charakteristik s respektováním nastavení ovládacích prvků

6 Konkrétní výpočet elektrické vzdálenosti

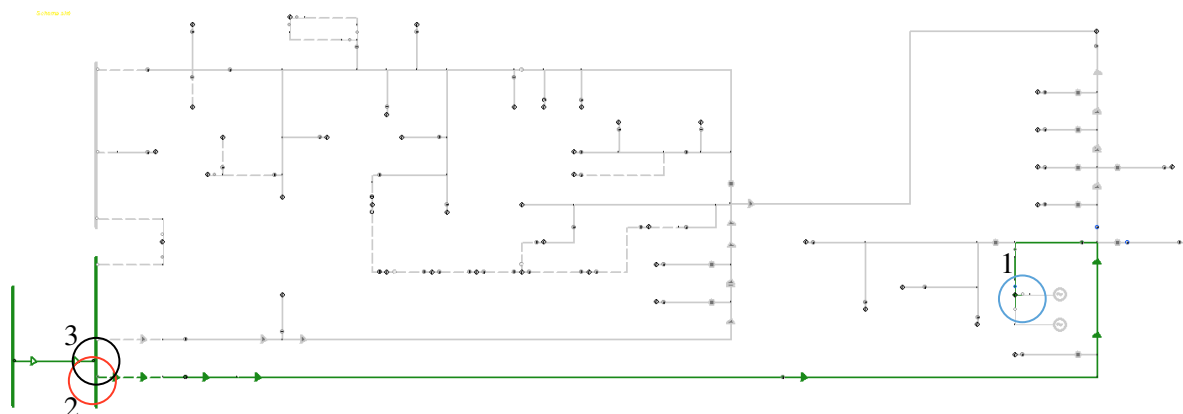
K mé bakalářské práci patří i konkrétní výpočet elektrické vzdálenosti. Tyto výpočty jsem ověřoval zvoleným softwarem Bizon projektant a výsledky z tohoto programu jsem porovnával s ručními výpočty elektrické vzdálenosti. Zabývám se třemi zvolenými variantami, které vypočítávám a porovnávám v modelové síti 22kV /110kV, která vychází z reálné sítě. V tomto modelu reálné sítě mě zajímala elektrická vzdálenost od větrných elektráren v síti 22 kV k napájecí rozvodně 110/22 kV. Schéma sítě je u každé varianty vždy zobrazeno a je z něj jasné, o kterou část paprsku v síti jde (je počítána). Jde o počítání s připojenými větrnými elektrárnami, které budou podle variant zapojeny na dvou různých místech sítě, ale v jednom případě však bude počítána elektrická vzdálenost s připojenou částí sítě, která bude u předešlé varianty vypnuta, tím nám vzniknou zmíněné 3 varianty. Parametry těchto použitých vodičů, které jsou nutné pro výpočet elektrické vzdálenosti a, jsou zapsány v této tabulce:

Tab. 2. Parametry vedení dle jednotlivých průřezů vodiče

Průřez [mm ²]	Jmenovité napětí [kV]	Činný odpor R/km [Ω]	Reaktance X/km [Ω]
240 AlFe	22	0,1181	0,3587
210 AlFe	22	0,137	0,3950
120 AlFe	22	0,225	0,3634
50 AlFe	22	0,615	0,3964
42 AlFe	22	0,6671	0,4214
Kabel AXECY	22	0,128	0,198

6.1 První příklad výpočtu elektrické vzdálenosti

V této první variantě výpočtu, se počítá elektrická vzdálenost v paprskové síti. Elektrická vzdálenost, která je počítána, je vyznačena ve schématu zelenou barvou a místo jejího počátku a konce je vyznačeno body 1 a 2. Větrné elektrárny jsou připojeny v místě 1. Ve schématu jsou generátory větrných elektráren značeny šedě, což znamená, že jsou odpojeny. To je způsobeno tím, že jejich dodávka je nahrazena v uzlu jejich připojení k elektrické síti v bodě 1, a to konkrétně 10 MW. Bod 2 ve schématu je označení místa, kde je paprsek připojen na napájecí rozvodnu. Dále je také ze schématu znát, že všechny odběry na počítaném úseku jsou odpojeny a tudíž jsou značeny šedou barvou. To je z toho důvodu, aby se mohla počítat elektrická vzdálenost v ustáleném chodu elektrické sítě.



Obr.4. Schéma elektrické sítě s vyobrazením prvního příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti

Ze schématu je znát, že na přípojnici napájecí rozvodny je připojena ještě jedna přípojnice v místě označeném číslem 3. Je to z toho důvodu, že v programu Bizon projektant naše hlavní přípojnice, ke které se počítala elektrická vzdálenost, nebyla nastavena jako napájecí, tudíž se muselo přidat napájení, aby se mohli spustit výpočty v programu. Na výpočtech elektrické vzdálenosti se to nijak neprojeví, jelikož napájecí přípojnice je připojena délkou 1m vodiče 120AlFe6, což je zanedbatelná hodnota ve výpočtech. Konkrétní počítání elektrické vzdálenosti je vlastně sériovým součtem impedancí a reaktancí na jednotlivých částech vedení, rozdělených podle průřezu použitého vodiče v daném úseku. Konkrétní parametry vedení jsou již zapsány v tabulce č.2. Parametry jednotlivých úseků vedení této varianty na hladině napětí 22kV, jsou znázorněny v tabulce č.3.

Tab. č.3 Vypočtené parametry jednotlivých úseků vedení

Průřez [mm²]	Délka [m]	Činný odpor R [Ω]	Impedance Z [Ω]
42	445	0,2969	0,2969 + j0,1875
42	1409	0,9399	0,9399 + j0,5938
50	942	0,5793	0,5793 + j0,3734
50	124	0,0763	0,0763 + j0,0492
50	45	0,0277	0,0277 + j0,0178
50	1458	0,8967	0,8967 + j0,578
120	628	0,1413	0,1413 + j0,2282
120	18	0,0041	0,0041 + j0,0065
240	50	0,0059	0,0059 + j0,0179
Kabel 240	625	0,08	0,08 + j0,1238
Σ	5744	3,0481	3,0481 + j2,1761

Z této tabulky vyplývá, že konkrétní činný odpor celého úseku počítaného vedení je 3,0481 Ω. Celková impedance vyplývá z výsledného činného odporu, který tvoří reálnou část výsledné impedance a celkovým součtem reaktancí, jež tvoří imaginární část impedance.

V tabulce č.4 je již výsledný výpočet elektrické vzdálenosti přepočítaný, na jednotlivé použité průřezy vodičů vedení. Tyto výpočty se prováděly jak pro výpočet činného odporu vedení tak také pro jeho impedanci, aby bylo možno porovnat, jaký bude rozdíl mezi tím, zda je počítáno s impedancí sítě či pouze s činným odporem sítě, jelikož by mělo být z výsledků patrné, že při počítání elektrické vzdálenosti s impedancí sítě mají výsledky vycházet přesněji než při počítání pouze s činným odporem sítě. Konkrétní výpočet elektrické vzdálenosti je vlastně přepočtem výsledné impedance sítě či činného odporu na elektrickou vzdálenost, která respektuje parametry vodiče AlFe6 s použitými průřezy 240, 120, 50, 42 mm². Zjednodušeněji řečeno jde o podělení výsledné impedance nebo činného odporu konkrétním parametrem impedance či činného odporu pro jednotlivý průřez. Pro názornost zde uvádím výpočet elektrické vzdálenosti jak pro výpočet pouze z činného odporu sítě, tak také impedance sítě. Výpočty jsou provedeny pro přepočet použitého vedení 50 AlFe6:

Pro počítání s činným odporem sítě -

$$\frac{3,0481}{0,615} = 4,9562 \text{ km}$$

Pro výpočet s impedancí sítě -

$$\frac{3,0481 + j2,1761}{0,615 + j0,3964} = 5,1185 \text{ km}$$

Do tabulky č.4. jsem zapsal pro první variantu všechny vyšlé elektrické vzdálenosti pro přepočet na všechny použité vodiče v síti dané varianty a to pro počítání jak pro R, tak také Z. Tyto hodnoty v tabulce jsou výsledkem ručního počítání.

Tab. č 4. Hodnoty elektrické vzdálenosti ručního výpočtu

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	3,0481 + j2,1761	Kabel 240	15,8847
		240	9,9172
		120	8,7623
		50	5,1185
		42	4,7464
R	3,0481	Kabel 240	23,8132
		240	25,8094
		120	13,5471
		50	4,9562
		42	4,5691
Celková délka úseků			5,7440

V této tabulce je zapsána „Celková délka úseků“, což je celkový součet jednotlivých reálných délek použitých úseků různých průřezů, který se porovnává s vyššími hodnotami elektrické vzdálenosti. Z tabulky jsem pak vybíral, který parametr vodiče je nejvhodnější pro přepočet. Z hodnot jež mi vyšli, je jako nejvhodnější přepočet dle impedance na vodič 50 AlFe6, což jsem i předpokládal, jelikož byl v počítané síti nejvíce zastoupen.

V programu Bizon projektant byl proveden výpočet ustáleného chodu sítě a určil se proud. Tyto výpočty se provedly 2x a to proto, že v druhém případě se v programu Bizon projektant odstranily kapacitní (příčné) větve, aby se eliminovala chyba výpočtu. Z tohoto důvodu jsou výpočty rozděleny do dvou variant a to A a B, kdy A jsou výpočty v programu s kapacitními větvemi a B je varianta s výpočty bez kapacitních větví. Vypnutí kapacitních větví se v programu Bizon projektant provedlo tak, že se hodnota B nastavila na konstantní hodnotu 0,0001. Hodnoty, jež byly vypočteny programem:

A) S kapacitními větvemi

Hodnoty odečtené na začátku vedení

$$I_Z = 266,38 \text{ A}$$

$$U_Z = 23,1 \text{ kV}$$

$$P_Z = 10648,99 \text{ kW}$$

$$Q_Z = 428,4 \text{ kvar}$$

Hodnoty odečtené na konci vedení

$$I_K = 266,38 \text{ A}$$

$$U_K = 21,671 \text{ kV}$$

$$P_K = 10\,000 \text{ kW}$$

$$Q_K = 0 \text{ kvar}$$

Z těchto odečtených hodnot se pak následně vypočetly činné a jalové ztráty na vedení:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 10648,99 - 10000 = 648,99 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 428,4 - 0 = 428,4 \text{ kvar}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{648990}{3 \cdot 266,38^2} = 3,0487[\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{428400}{3 \cdot 266,38^2} = 2,0124[\Omega]$$

B) Bez kapacitních větví

Hodnoty odečtené na začátku vedení:

$$I_Z = 266,41 \text{ A}$$

$$U_Z = 23,1 \text{ kV}$$

$$P_Z = 10649,01 \text{ kW}$$

$$Q_Z = 463,75 \text{ kvar}$$

Hodnoty na konci vedení

$$I_K = 266,41 \text{ A}$$

$$U_K = 21,671 \text{ kV}$$

$$P_K = 10000 \text{ kW}$$

$$Q_K = 0 \text{ kvar}$$

Výpočet činných a jalových ztrát:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 10649,01 - 10000 = 649,01 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 463,75 - 0 = 463,75 \text{ kvar}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{649010}{3 \cdot 266,41^2} = 3,0481[\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{463750}{3 \cdot 266,41^2} = 2,178[\Omega]$$

Z těchto hodnot činného odporu a induktivní reaktance u variant A i B byly stejným způsobem spočteny elektrické vzdálenosti, jež jsou v tabulkách č.5 a č.6.

Tab. č 5. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu A) s kapacitními větvemi

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm²]	[km]
Z	3,0487 + j2,0124	Kabel 240	15,4937
		240	9,6731
		120	8,5466
		50	4,9925
		42	4,6296
R	3,0487	Kabel 240	23,8179
		240	25,8145
		120	13,5497
		50	4,9572
		42	4,5700
Celková délka úseků			5,7440

Tab. č 6. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu B) bez kapacitních větví

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	3,0481 + j2,178	Kabel 240	15,8894
		240	9,9201
		120	8,7649
		50	5,1200
		42	4,7478
R	3,0481	Kabel 240	23,8132
		240	25,8094
		120	13,5471
		50	4,9562
		42	4,5691
Celková délka úseků			5,7440

Z těchto vypočtených hodnot elektrické vzdálenosti a hodnot programu Bizon projektant je patrné, že se od ručního výpočtu takřka neliší. Největší změna je ve verzi A) kdy je počítáno v programu s kapacitními větvemi, ale jak už bylo řečeno výše v textu, tak to má za následek větší nepřesnost výpočtů. Pro procentuální porovnání výsledných hodnot jsem spočítal relativní chybu měření a to vždy mezi hodnotou elektrické vzdálenosti jež vyšla výpočtem z programu Bizon projektant s vypnutými kapacitními větvemi a mezi hodnotou, jež vyšla z výpočtů z hodnot programu s kapacitními větvemi a následně pak mezi hodnotou, jež vyšla ručním výpočtem. Zvolil jsem tak, jelikož U ručních výpočtů se může objevit snadno chyba zaokrouhlováním či popřípadě nějakým přehlédnutím a jelikož hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené programem bez kapacitních větví by měly být dle předpokladu nejpřesnější. Tyto relativní chyby jsem však nepočítal pro všechny druhy použitého vedení, nýbrž vždy jen pro daný typ vodiče, jež vyšel nejpřesněji ke skutečné vzdálenosti ze schématu. V tomto případě to byl vodič 50 AlFe6.

Výpočet relativních chyb:

- Mezi variantou A a variantou B

$$\delta = \left| \frac{5,1200 - 4,9925}{5,1200} \right| \cdot 100 = 2,49\%$$

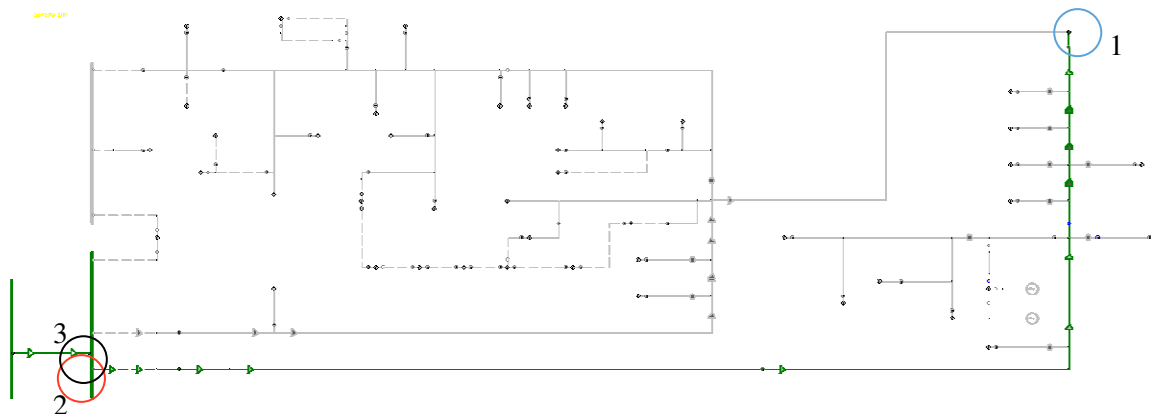
- Mezi variantou A a ručním výpočtem

$$\delta = \left| \frac{5,1200 - 5,1185}{5,1200} \right| \cdot 100 = 0,03\%$$

Z těchto výsledků je patrné, že ruční výpočet elektrické vzdálenosti byl přesnější než výpočet elektrické vzdálenosti programem se zapnutými kapacitními větvemi. Tím se i potvrdilo tvrzení, že u počítání programem se zapnutými příčnými větvemi dochází k nepřesnostem. Nicméně nepřesnosti nejsou tak značné a 2,49% není příliš velký rozdíl mezi hodnotami elektrické vzdálenosti. Stále u všech tří druhů výpočtů vychází, že nejpřesnější byl přepočet na vodič 50 AlFe6.

6.2 Druhý příklad výpočtu elektrické vzdálenosti

V tomto druhém příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti se jedná opět o tu samou problematiku. Odlišnost je pouze v tom, kde jsou v síti připojeny větrné elektrárny. Ty jsou připojeny v nejvzdálenějším místě paprsku, což je vyznačeno bodem 1 ve schématu na obr.5. Elektrická vzdálenost se počítá mezi místy vyznačenými body 1 a 2. Bod 2 na obr.5. je místo připojení paprsku na napájecí rozvodnu. Veškeré odběry na počítané trase jsou opět značeny šedě, jelikož jsou odpojeny.



Obr.5. Schéma elektrické sítě s vyobrazením druhého příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti

Opět bylo připojeno napájení, jež je připojeno v místě označeném číslem 3 ve schématu. V místě připojení větrných elektráren, tedy v uzlu v bodě 1 ve schématu, byl opět nastaven odběr 10 MW, stejně jako v první výpočetní variantě. V tabulce č.7. jsou vypočteny hodnoty činného odporu a impedance pro jednotlivé úseky vedení. Tyto výpočty se opět řídily hodnotami parametrů vedení z tabulky č.2.

Tab. č.7 Vypočtené parametry jednotlivých úseků vedení

Průřez [mm ²]	Délka [m]	Činný odpor R [Ω]	Impedance Z [Ω]
42	445	0,2969	0,2969 + j0,1875
42	1409	0,9399	0,9399 + j0,5938
42	1888	1,2595	1,2595 + j0,7956
42	405	0,2702	0,2702 + j0,1706
42	303	0,2021	0,2021 + j0,1277
42	719	0,4796	0,4796 + j0,303
50	942	0,5793	0,5793 + j0,3734
50	124	0,0763	0,0763 + j0,0492
50	1054	0,6482	0,6482 + j0,4178
120	628	0,1413	0,1413 + j0,2282
120	18	0,0041	0,0041 + j0,0065
Kabel 240	625	0,08	0,08 + j0,1238
Σ	8560	4,9774	4,9774 + j3,3771

Z této tabulky č.7, se opět součtem všech úseků vedení dosáhlo celkového výsledného činného odporu a impedance. Z těchto hodnot činného odporu a impedance se dále pak vypočetla stejným způsobem jako v předešlé první variantě elektrická vzdálenost přepočítaná na jednotlivé použité průřezy použitých vodičů v elektrické síti na počítané trase. Hodnoty elektrické vzdálenosti jsou znázorněny v tabulce č.8.

Tab. č 8. Hodnoty elektrické vzdálenosti ručního výpočtu

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm²]	[km]
Z	4,9774 + j3,3771	Kabel 240	25,5117
		240	15,9275
		120	14,0727
		50	8,2206
		42	7,6229
R	4,9774	Kabel 240	38,8859
		240	42,1456
		120	22,1217
		50	8,0933
		42	7,4612
Celková délka úseků			8,5600

Z výsledků zobrazených v tabulce č.8. je zřejmé, že nejbližší vypočtená elektrická vzdálenost k hodnotě celkového součtu jednotlivých úseku vedení, odečtených ze schématu při ručních výpočtech, je nejbližše přepočet pro použité vedení 50 AlFe6. Z hodnot je také patrné, že výpočet pomocí impedance je opět přesnější než u výpočtu elektrické vzdálenosti pouze z činného odporu.

Pomocí programu Bizon projektant se opět provedly výpočty dvěma způsoby, a to s kapacitními větvemi a bez kapacitních větví. Tyto varianty jsem opět označil A a B, kdy A je varianta s kapacitními větvemi a B je varianta bez kapacitních větví, čili byla hodnota B v programu Bizon projektant nastavena na 0,0001.

A) S kapacitními větvemi

Hodnoty odečtené na začátku vedení:	Hodnoty na konci vedení
$I_Z = 280,24 \text{ A}$	$I_K = 280,38 \text{ A}$
$U_Z = 23,1 \text{ kV}$	$U_K = 20,598 \text{ kV}$
$P_Z = 11186 \text{ kW}$	$P_K = 9999,98 \text{ kW}$
$Q_Z = 764,84 \text{ kvar}$	$Q_K = 0,01 \text{ kvar}$

Z těchto odečtených hodnot se pak následně vypočetly činné a jalové ztráty na vedení:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 11186 - 9999,98 = 1186,02 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 764,84 - 0,01 = 764,83 \text{ kvar}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{1186020}{3 \cdot 280,38^2} = 5,0289 [\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{764830}{3 \cdot 280,38^2} = 3,243 [\Omega]$$

B) Bez kapacitních větví

Hodnoty odečtené na začátku vedení:	Hodnoty na konci vedení
$I_Z = 280,31 \text{ A}$	$I_K = 280,31 \text{ A}$
$U_Z = 23,099 \text{ kV}$	$U_K = 20,597 \text{ kV}$
$P_Z = 11186,1 \text{ kW}$	$P_K = 9999,98 \text{ kW}$
$Q_Z = 802,83 \text{ kvar}$	$Q_K = 0,01 \text{ kvar}$

Z těchto odečtených hodnot se pak následně vypočítaly činné a jalové ztráty na vedení:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 11186,1 - 9999,98 = 1186,12 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 802,83 - 0,01 = 802,82 \text{ k var}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{1186120}{3 \cdot 280,31^2} = 5,0318 [\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{802820}{3 \cdot 280,31^2} = 3,4058 [\Omega]$$

Z těchto hodnot činného odporu a induktivní reaktance u variant A i B, byly stejným způsobem spočteny elektrické vzdálenosti, jež jsou v tabulkách č.9 a č.10.

Tab. č 9. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu A) s kapacitními větvemi

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	5,0289 + j3,243	Kabel 240	25,3800
		240	15,8454
		120	14,0001
		50	8,3843
		42	7,5836
R	5,0289	Kabel 240	39,2882
		240	42,5817
		120	22,3506
		50	8,1770
		42	7,5384
Celková délka úseků			8,5600

Tab. č 10. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu B) bez kapacitních větví

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	5,0318 + j3,4058	Kabel 240	25,7710
		240	16,0894
		120	14,2157
		50	8,3042
		42	7,7004
R	5,0318	Kabel 240	39,3109
		240	42,6062
		120	22,3635
		50	8,1817
		42	7,5428
Celková délka úseků			8.5600

Z takto spočtených výsledných hodnot elektrické vzdálenosti, jsem opět provedl jejich porovnání a to stejným způsobem jako v první variantě a to tak, že jako nejpřesnější hodnota, ke které jsou ostatní porovnávány byla vybrána hodnota elektrické vzdálenosti spočtená z výchozích hodnot programu Bizon projektant, při odstranění kapacitních větví, jelikož je opět dle teorie považována předpokladem za nejpřesnější. Porovnávány byly hodnoty pro vedení 50 AlFe6, které vyšlo po přepočtu nejbližší k celkové délce úseku, stejně jako tomu bylo v první variantě a jedná se o porovnávání hodnot elektrické vzdálenosti vypočtené z impedance vedení.

Výpočet relativních chyb:

- Mezi variantou A a variantou B

$$\delta = \left| \frac{8,3042 - 8,3843}{8,3042} \right| \cdot 100 = 0,96\%$$

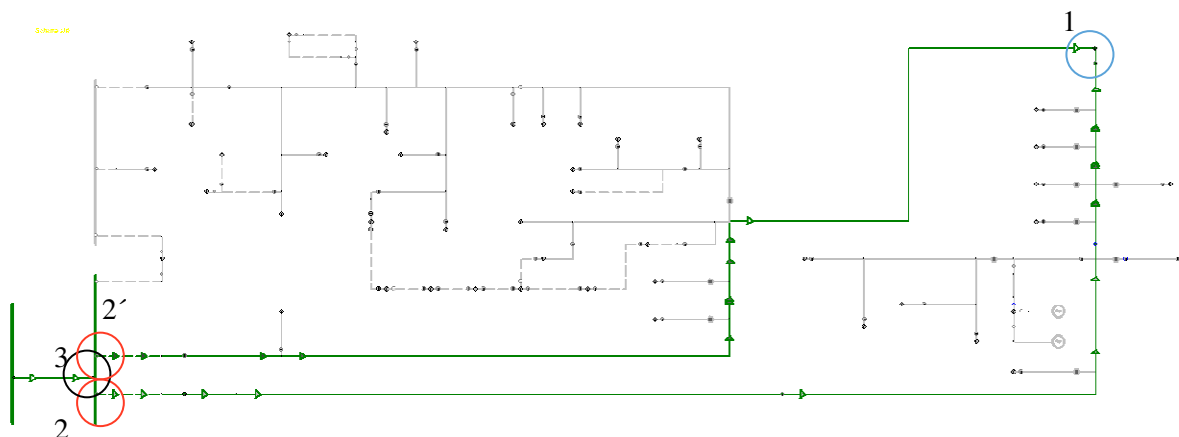
- Mezi variantou A a ručním výpočtem

$$\delta = \left| \frac{8,3042 - 8,2206}{8,3042} \right| \cdot 100 = 1\%$$

Z těchto výsledků je patrné, že ruční výpočet elektrické vzdálenosti v tomto případě nebyl přesnější než výpočty provedené na základě hodnot z programu při počítání s kapacitními větvemi, ale rozdíl je minimální, ba zanedbatelný. Stále u všech tří druhů výpočtů vychází, že nejpřesnější byl přepočet na vodič 50 AlFe6.

6.3 Třetí příklad výpočtu elektrické vzdálenosti

V třetím příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti se jedná o změnu v tom, že jsem k druhému příkladu výpočtu v kapitole 6.2. připojil v bodě 1 vyznačeném ve schématu, paralelní větev skládající se takřka jen z vedení 120AlFe6, což je patrné z tabulky č.11. Tím nám vznikla okružní síť. Počítaná elektrická vzdálenost je ve schématu vyznačena zelenou barvou, čili mezi body 1 a body 2 a 2' jež jsou vyznačeny ve schématu na obr.6. Změna v počítání elektrické vzdálenosti je v tom, že u tohoto třetího příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti se již nejedná o pouhé sériové sčítání reaktancí a impedancí, ale také o paralelní sčítání.



Obr.6. Schéma elektrické sítě s vyobrazením třetího příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti

Význam bodu č 3 ve schématu je opět připojení napájecí rozvodny. V tabulce č. 7 jsou vypočteny hodnoty činného odporu a impedance pro jednotlivé úseky vedení pro připojenou paralelní větev, tedy mezi body 1 a 2' dle schématu. Tyto výpočty se opět řídily hodnotami parametrů vedení z tabulky č.2. Pro zjednodušení ručních výpočtů jsem využil vypočtené hodnoty pro výpočet parametrů vedení jednotlivých úseků mezi body 1 a 2., druhého příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti v kapitole 6.2. Tím jsem získal tabulku č.12.

Tab. č.11 Vypočtené parametry jednotlivých úseků vedení

Průřez [mm ²]	Délka [m]	Činný odpor R [Ω]	Impedance Z [Ω]
120	3000	0,675	0,675 + j1,0902
120	674	0,1517	0,1517 + j0,2449
120	220	0,0495	0,0495 + j0,0799
120	542	0,122	0,122 + j0,197
120	1255	0,2824	0,2824 + j0,4561
120	658	0,1481	0,1481 + j0,2391
Kabel 240	571	0,0731	0,0731 + j0,1131
Σ	6920	1,5018	1,5018 + j2,4203

Tab. č.12 Vypočtené parametry jednotlivých úseků vedení

Průřez [mm ²]	Délka [m]	Činný odpor R [Ω]	Impedance Z [Ω]
42	445	0,2969	0,2969 + j0,1875
42	1409	0,9399	0,9399 + j0,5938
42	1888	1,2595	1,2595 + j0,7956
42	405	0,2702	0,2702 + j0,1706
42	303	0,2021	0,2021 + j0,1277
42	719	0,4796	0,4796 + j0,303
50	942	0,5793	0,5793 + j0,3734
50	124	0,0763	0,0763 + j0,0492
50	1054	0,6482	0,6482 + j0,4178
120	628	0,1413	0,1413 + j0,2282
120	18	0,0041	0,0041 + j0,0065
Kabel 240	625	0,08	0,08 + j0,1238
Σ	8560	4,9774	4,9774 + j3,3771

Z výsledného činného odporu, impedance a délky připojené paralelní větve, jsem paralelním sečtením těchto hodnot s výsledky celkového činného odporu, impedance a délky z tabulky č.12. vypočetl výsledný činný odpor, impedanci a délku počítaného třetího příkladu elektrické vzdálenosti.

$$R = \frac{R_{V2} \cdot R_{V3}}{R_{V2} + R_{V3}} = \frac{4,9774 \cdot 1,5018}{4,9774 + 1,5018} = 1,1537 [\Omega]$$

$$Z = \frac{Z_{V2} \cdot Z_{V3}}{Z_{V2} + Z_{V3}} = \frac{(4,9774 + j3,3771) \cdot (1,5018 + j2,4203)}{(4,9774 + j3,3771) + (1,5018 + j2,4203)} = 1,2555 + j1,5187 [\Omega]$$

$$l = \frac{l_{V2} \cdot l_{V3}}{l_{V2} + l_{V3}} = \frac{8560 \cdot 6920}{8560 + 6920} = 3826 m$$

Kde:

- R_{V2} je výsledný činný odpor z varianty druhé
- R_{V3} je výsledný činný odpor z varianty třetí (samostatné paralelní větve)
- Z_{V2} je výsledná impedance z varianty druhé
- Z_{V3} je výsledná impedance z varianty třetí (samostatné paralelní větve)
- l_{V2} je celková vzdálenost úseků druhé varianty
- l_{V3} je celková vzdálenost úseků třetí varianty

Z těchto výsledných hodnot se pak už stejným způsobem opět provedl výpočet elektrické vzdálenosti přepočítaný na parametry vedení:

Tab. č 13. Hodnoty elektrické vzdálenosti ručního výpočtu

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm²]	[km]
Z	1,2555 + j1,5187	Kabel 240	8,3575
		240	5,2178
		120	4,6101
		50	2,6930
		42	2,4972
R	1,1537	Kabel 240	9,0132
		240	9,7688
		120	5,1275
		50	1,8759
		42	1,7294
Celková délka úseků			3.8260

Z těchto výsledků elektrické vzdálenosti vyplývá, že nejbližší vychází přepočet pro parametr vedení 120 AlFe6 a to jak u počítání elektrické vzdálenosti z činného výkonu tak impedance. Nicméně hodnoty jsou o skutečné délky úseků značně odlišné a pohybují se na hraně s přepočtem pro 50 AlFe6. To je způsobeno tím, že druhá varianta, tedy celá jedná část (první paralelní větev) byla převážně složena z vodičů 50 AlFe6 a 42 AlFe6 a druhá část paralelní větve je až na délku 571m kdy je použit kabel, celá složená z vodiče 120 AlFe6.

Pomocí programu Bizon projektant se opět provedly výpočty dvěma způsoby, a to s kapacitními větvemi a bez kapacitních větví. Tyto varianty jsem opět označil A a B, kdy A je varianta s kapacitními větvemi a B je varianta bez kapacitních větví, čili byla hodnota B v programu Bizon projektant nastavena na 0,0001.

A) S kapacitními větvemi

Hodnoty odečtené na začátku vedení:

$$I_Z = 255,63 \text{ A}$$

$$U_Z = 23,1 \text{ kV}$$

$$P_Z = 10225,73 \text{ kW}$$

$$Q_Z = 208,17 \text{ kvar}$$

Hodnoty na konci vedení

$$I_K = 255,63 \text{ A}$$

$$U_K = 22,581 \text{ kV}$$

$$P_K = 9999,56 \text{ kW}$$

$$Q_K = 0,11 \text{ kvar}$$

Hodnoty proudů se rozdělily na 178,19 A a 77,44A tak jak ukázal model v programu Bizon projektant. Pro výpočet činného odporu a reaktance však tyto údaje nejsou zapotřebí, jelikož se počítá s celkovým proudem a ten byl 255,63A, což je přesným součtem rozdělených proudů do větví.

Z těchto odečtených hodnot se pak následně vypočetly činné a jalové ztráty na vedení:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 10225,73 - 9999,58 = 226,15 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 208,17 - 0,11 = 208,06 \text{ kvar}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{226150}{3 \cdot 255,63^2} = 1,1536 [\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{208060}{3 \cdot 255,63^2} = 1,0613 [\Omega]$$

B) bez kapacitních větví

Hodnoty odečtené na začátku vedení:

$$I_Z = 255,68 \text{ A}$$

$$U_Z = 23,1 \text{ kV}$$

$$P_Z = 10225,74 \text{ kW}$$

$$Q_Z = 279,71 \text{ kvar}$$

Hodnoty na konci vedení

$$I_K = 255,68 \text{ A}$$

$$U_K = 22,581 \text{ kV}$$

$$P_K = 9999,56 \text{ kW}$$

$$Q_K = 0,12 \text{ kvar}$$

Hodnoty proudů se rozdělily na 178,48 A a 77,2A tak jak ukázal model v programu Bizon projektant.

Z těchto odečtených hodnot se pak následně vypočetly činné a jalové ztráty na vedení:

$$\Delta P = P_Z - P_K = 10225,74 - 9999,56 = 226,18 \text{ kW}$$

$$\Delta Q = Q_Z - Q_K = 279,71 - 0,12 = 279,59 \text{ kvar}$$

Následně se ze vztahu $\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2$ a $\Delta Q = 3 \cdot X \cdot I^2$ provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X:

$$R = \frac{\Delta P}{3 \cdot I^2} = \frac{226180}{3 \cdot 255,68^2} = 1,1533 [\Omega]$$

$$X = \frac{\Delta Q}{3 \cdot I^2} = \frac{279590}{3 \cdot 255,68^2} = 1,4256 [\Omega]$$

Z těchto hodnot činného odporu a induktivní reaktance u variant A i B, byly stejným způsobem spočteny elektrické vzdálenosti, jež jsou v tabulkách č.14 a č.15.

Tab. č 14. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu A) s kapacitními větvemi

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	1,1536 + j1,0613	Kabel 240	6,6485
		240	4,1508
		120	3,6674
		50	2,1423
		42	1,9866
R	1,1536	Kabel 240	9,0125
		240	9,7679
		120	5,1271
		50	1,8757
		42	1,7292
Celková délka úseků			3.8260

Tab. č 15. Hodnoty elektrické vzdálenosti vypočtené z programu bizon projektant pro variantu B) bez kapacitních větví

Metoda	Výsledná hodnota Z a R	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	1,1533 + j1,4256	Kabel 240	7,7774
		240	4,8276
		120	4,3278
		50	2,5061
		42	2,3239
R	1,1533	Kabel 240	9,0101
		240	9,7654
		120	5,1257
		50	1,8752
		42	1,7288
Celková délka úseků			3,8260

Z těchto spočtených hodnot elektrické vzdálenosti v tabulkách č.13, č.14 a č.15, jsem spočetl stejným způsobem procentuální porovnání hodnot pro použité vedení 120 AlFe6, které vyšlo po přepočtu nejbližší k hodnotě skutečné délky l, jež byla paralelním součtem dvou větví a vyšla 3,8260 km. Jako nejpřesnější hodnotu jsem zvolil opět výsledek elektrické vzdálenosti spočtený pro variantu B (s kapacitními větvemi) a to pro výpočet z impedance nikoliv jen z činného odporu.

Výpočet relativních chyb:

- Mezi variantou A a variantou B

$$\delta = \left| \frac{4,3278 - 3,6674}{4,3278} \right| \cdot 100 = 15\%$$

- Mezi variantou A a ručním výpočtem

$$\delta = \left| \frac{4,3278 - 4,6101}{4,3278} \right| \cdot 100 = 6,53\%$$

Tyto výpočty relativních chyb mají velkou procentuální chybu. To je zapříčiněno tím, že skutečná délka 3,8280 km je od výpočtu velmi vzdálena, jelikož u jedné části počítané trasy elektrické vzdálenosti je použito především vedení 42AlFe6 a 50AlFe6, což lze vidět v tabulce č.12., zatím co u připojené paralelní větve je použito s velikou převahou vedení 120AlFe6, což je znázorněno v tabulce č.11. To zapříčinilo, že odpor jednotlivých větví je odlišný. Odlišnost v odporu větví je i vidět v tom, jak se rozdělily proudy do těchto větví, a to zhruba na 178 A a 77 A. Tím jsem došel k závěru, že nejpřesnější výsledky budou dosaženy tehdy, když by v počítané trase elektrické vzdálenosti bylo použito vedení například 95AlFe6, které je přibližně nejbližší průměru mezi vodiči 50AlFe6 a 120AlFe6. Pro ověření tohoto tvrzení jsem spočetl ruční metodou pro toto vedení elektrickou vzdálenost jež je uvedena v tabulce č.16. Parametry tohoto vedení jsou uvedeny v tabulce č.17.

Tab. č.17 Parametry vedení

Průřez	Činný odpor R	Impedance Z
[mm ²]	[Ω]	[Ω]
95	0,301	0,301 + j0,374

Tab. č.16 Hodnota elektrické vzdálenosti ručním výpočtem, pro vedení 95AlFe6

Metoda	Výsledná hodnota Z	Průřez přepočítaný na vedení	Elektrická vzdálenost
	[Ω]	[mm ²]	[km]
Z	1,255 + j1,5187	95	4,1037
Celková délka úseků			3,8260

Z těchto tabulek vyplývá, že by výpočty opravdu byli přesnější při použití vedení 95AlFe6, jelikož vypočtená elektrická vzdálenost se od reálné vzdálenosti liší mnohem méně. To nám odůvodní spočtenou větší nepřesnost předcházejících výpočtů v tomto třetím příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti.

7 Závěr

V mé bakalářské práci jsem se zabýval rozбором pojmu elektrická vzdálenost. Termín elektrická vzdálenost je většinou spojována s problematikou zkratových výpočtů. Definice elektrické vzdálenosti se ve většině odborných literatur nevyskytuje. Zjednodušeně lze tedy říci, že elektrická vzdálenost je fiktivní veličinou nahrazující některé skutečné vlastnosti reálné elektrické sítě. Zohledňuje vlastnosti elektrické sítě, jako vliv na přenos elektrického proudu, ale také zohledňuje skutečné prostorové uspořádání sítě. Elektrickou vzdálenost můžeme vypočítávat například metodou sérioparalelního zapojení impedancí s následným přepočtem na impedanci zvoleného vodiče, či u složitějších sítí činný odpor a reaktanci vypočítávat z hodnoty činných a jalových ztrát ve vedení. Výpočty elektrické vzdálenosti se prováděly na třech příkladech v paprskové síti a jednalo se o model reálné sítě 22kV/110kV. V tomto modelu jsem počítal elektrickou vzdálenost od místa připojení větrných elektráren v síti 22kV, k napájecí rozvodně 110/22 kV. V práci jsem se zabýval třemi způsoby výpočtu elektrické vzdálenosti. Prvním způsobem byl ruční výpočet, který byl prováděn metodou sérioparalelního zapojení impedancí s následným přepočtem na impedanci použitých vodičů. Tímto jsem získal výslednou elektrickou vzdálenost přepočtenou pro konkrétní vodič. Druhým a třetím způsobem bylo vypočítávání elektrické vzdálenosti pomocí softwaru Bizon projektant, kdy se rozlišovalo počítání se zapnutými kapacitními větvemi a bez kapacitních větví. To bylo prováděno z důvodu porovnání vlivu kapacitních větví na výpočet elektrické vzdálenosti. Tímto způsobem výpočtu se docházelo k výsledné hodnotě elektrické vzdálenosti tak, že z hodnot, které vypočetl program Bizon projektant, jsem získal hodnoty proudu, napětí, činného výkonu a jalového výkonu, jak na začátku vedení počítané trasy elektrické vzdálenosti, tak na jejím konci. Následně jsem provedl výpočet činného odporu R a induktivní reaktance X . Z takto spočteného činného odporu a induktivní reaktance, jsem dostal hodnotu celkové impedance vedení Z . Následně jsem tuto hodnotu přepočtl opět na použité vodiče v počítané trase a získal výslednou elektrickou vzdálenost pro konkrétní vodič. Výpočty elektrické vzdálenosti pro všechny tři metody výpočtu, jsou provedeny pro všechny tři příklady počítané elektrické vzdálenosti, uvedených v mé BP. Výsledky jednotlivých elektrických vzdáleností pro všechny 3 způsoby výpočtu, jsou vždy u každého příkladu mezi sebou porovnány a zhodnoceny. Porovnával jsem je výpočtem relativních chyb mezi všemi třemi způsoby výpočtu elektrické vzdálenosti. Zhodnocení výsledků elektrické vzdálenosti jsem provedl tak, že jsem vybral nejbližší hodnotu elektrické vzdálenosti k reálné délce l . Tím jsem zjistil, který přepočet na jednotlivé použité vodiče na počítané trase byl nejpřesnější. V prvním a druhém příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti vycházela všemi třemi způsoby výpočtu nejbližší hodnota elektrické vzdálenosti přepočtená na vodič 50AlFe6. To je patrné z tabulek. Odůvodněním je to, že tento vodič v počítané trase nejvíce převládal. U třetího příkladu výpočtu elektrické vzdálenosti se vypočtené elektrické vzdálenosti velice lišily od reálné délky úseků l . To bylo zapříčiněno tím, že připojená paralelní větev, složená převážně z vodiče 120AlFe6, měla více jak dvojnásobný průřez oproti druhé větvi, jež byla složena převážně z vodiče 50AlFe6. To způsobilo velmi odlišné rozdělení proudů do větví a to zhruba na 178 A a 77 A. Proto se výsledky elektrické vzdálenosti po paralelním sečtení těchto větví lišily, jelikož se vypočtená elektrická vzdálenost nepřikláněla ani k jednomu přepočtu na vodič 120AlFe6 či 50AlFe6. Proto jsem provedl přepočet na vodič 95AlFe6, jež je zhruba průměrem mezi převažujícími vodiči v obou větvích. Z výsledků se mi potvrdilo, že tento přepočet na vodič 95AlFe6 je přesnější, než přepočet na převládající vodiče v počítaných úsecích, jelikož vypočtená elektrická vzdálenost byla blíže k reálné délce úseků l , než elektrická vzdálenost po přepočtu na vodič 120AlFe6 nebo 50AlFe6.

Seznam použité literatury:

- [1] Santarius P.: Elektrické stanice a vedení, skripta VŠB-TU Ostrava 1990, ISBN 80-7078-032-0
- [2] Rusek S.: Teoretická elektroenergetika, skripta VŠB-TU Ostrava 1999, ISBN 80-7078-715-5
- [3] Střída, F., Rusek, S., Stacho, B.:Electrical Distance in Real Network. článek ve sborníku
konference ELNET 2009, VŠB-TU Ostrava 2009, vol. 6, 38-45, ISBN 978-80-248-2146-7-1
- [4] Gurecký, J.: Elektronická přednáška, Výpočet sítí vvn, Předmět: Přenos a rozvod elektrické
energie
- [5] URL: <<http://daisy.cz/daisycz/1024/index.html>>